

УДК 621.74: 621.436

С.Б. Таран, инж., О.В. Акимов, д-р техн. наук, А.П. Марченко, д-р техн. наук

ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПОРШНЕЙ ДВС

Одной из наиболее нагруженных деталей двигателей внутреннего сгорания является поршень. Во время рабочего цикла со стороны камеры сгорания поршень подвергается воздействию газов до 3000 К и давлению 1.3...1.6 МПа. Вследствие неравномерного нагрева поршня, обусловленного различием в условиях подвода и отвода теплоты рабочих газов, в нем возникают значительные квазистатические и циклические (динамические) термические напряжения, которые суммируются с рабочими напряжениями. В результате длительного воздействия (сотни, тысячи часов) этого напряженного состояния наступает повреждение поверхности или (и) тела поршня, приводящее в итоге к аварийному состоянию двигателя. Наиболее часто встречаются следующие дефекты поршней: а) образование сетки микротрещин или сквозной трещины в днище и бобышках поршня;

а) оплавление огневой поверхности днища;

б) износ и выкрашивание канавок под верхнее компрессионное кольцо

в) задиры рабочих поверхностей.

Среди названных дефектов наиболее опасным являются трещины термической усталости. Поэтому на этапе конструкторско-технологических разработок очень важно предсказать не только, насколько совершенна конструкция поршня, но и правильно ли выбраны его материал и технология производства. При обосновании материала необходимо учитывать сложность условий работы поршня, а также многообразие факторов, влияющих на протекание процесса разрушения. Это затрудняет установление единой характеристики, по которой можно было бы надежно оценить сопротивление термической усталости в условиях сложного напряженного состояния. Такой объединяющей характеристикой может быть термическая выносливость, т.е. способность материала сопротивляться разрушению при термической усталости. Эту характеристику не следует смешивать с термостойкостью, которая представляет собой сопротивление материала термическому удару. Термическая выносливость в отличие от термического удара требует длительных испытаний, к тому же это не

стандартный показатель. В этой связи важным является выявление функциональной зависимости между термической выносливостью и свойствами материала и разработка критерия оценки этой величины по общеизвестным механическим свойствам. Этому вопросу посвящено ряд работ, выполненных в Харьковском национальном техническом университете "ХПИ". Мы считаем, что среди множества известных критериев наиболее корректную взаимосвязь между термической выносливостью и свойствами материала поршня устанавливает критерий, предложенный в работе [1] в виде следующей зависимости:

$$K_{т.в.} = \frac{1}{2} \sigma_b \cdot \varepsilon_b \cdot \frac{\lambda}{\alpha} \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2,$$

где σ_b - предел прочности на растяжение; ε_b - деформация; λ - коэффициент теплопроводности; α - коэффициент линейного расширения; κ_1 - коэффициент стабильности структуры; κ_2 - коэффициент стабильности механических свойств.

Этот критерий учитывает то обстоятельство, что термоусталостное разрушение материала происходит тогда, когда потенциальная энергия внутренних деформаций совершает работу, удельное значение которой превзойдет величину работы деформации материала в упруго-пластической области. Поведение материала в условиях термоциклирования в большой степени зависит от соотношения упругой и пластической составляющих общей деформации, т.е. термическая выносливость материала будет определяться не общей работой разрушения, а работой деформации в упругопластической области. Для этого разделение общей деформации на упругую и пластическую составляющие при испытаниях на разрыв поршневых материалов осуществляли на выкотемпературной установке ИМАШ-5С путем последовательного нагружения. Методика испытаний близка к методике, разработанной в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины. [2].

На рис. 1 показано соотношение упругой и пластической деформации поршневого сплава АК12М2МгН и чугуна с вермикулярным графитом.

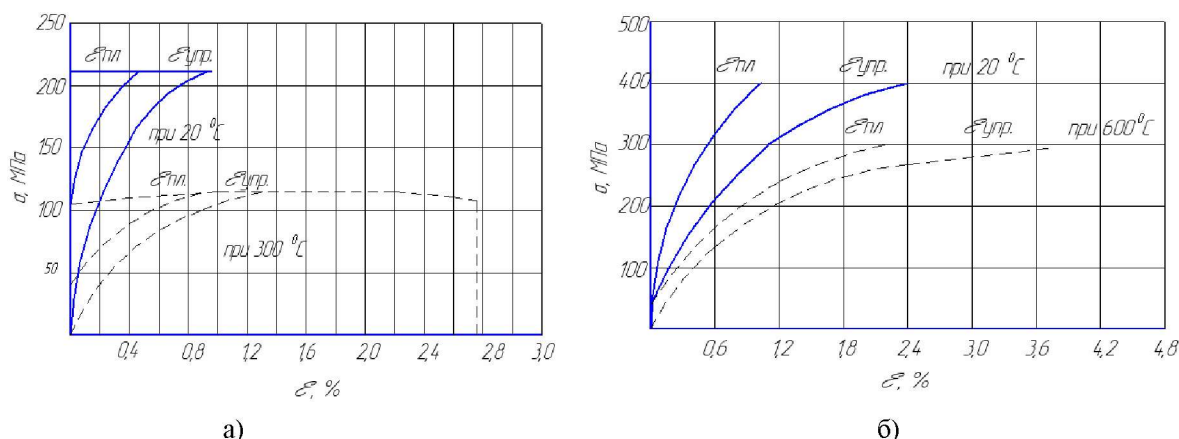


Рис. 1. Соотношение упругой и пластической деформации сплавов АК12М2МГН (рис. 1а) и ЧВГ (рис. 1б)

Анализируя диаграммы, необходимо отметить следующее:

а) Общая деформация алюминиевого сплава до разрушения при комнатной температуре составляет порядка 1%, а ЧВГ-2,4%. Соотношение упругой и пластической деформаций примерно одинаково, а при повышенных температурах предельное значение упругой деформации уменьшается. Однако величина пластической деформации резко возрастает у алюминиевого сплава, а после нагрузки 100 МПа происходит элементарная ползучесть;

б) Свойства алюминиевого сплава и чугуна, определяющие сопротивляемость термической усталости в условиях повышенных температур, не соизмеримы и, хотя один и другой материал имеют более низкое значение, абсолютная величина работы деформации у ЧВГ выше, чем у алюминиевого сплава в несколько раз. Это существенный резерв в борьбе за снижение массы чугунного поршня.

Проведенные исследования показали, что для получения более точных результатов следует произвести корректировку критерия термической выносливости $K_{т.в.}$. Площадь диаграммы испытаний материала на разрыв соответствует полной работе деформации, однако, в условиях рабочих температур высокопластичные материалы обладают большой пластичностью, что приводит к накоплению термических напряжений при термоциклировании, поэтому для снижения влияния ползучести удельную работу деформации ограничивают упругопластической областью. Тогда критерий, характеризующий сопротивление поршневого материала термической усталости, может быть представлен в виде выражения:

$$K_{т.в.} = A^t \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \kappa_p,$$

где $A^t = \int_0^{\varepsilon} \sigma \cdot d\varepsilon$ - удельная работа деформации при рабочей температуре; κ_p - коэффициент размерной стабильности (роста) материала; λ - коэффициент теплопроводности материала.

Обращает на себя внимание то, что основой предлагаемого критерия является удельная работа деформации материала при рабочей температуре. Исходя из этого, для повышения его термической выносливости следует идти по пути увеличения прочностных характеристик. При этом мы считаем, что в условиях термоциклирования в поверхностной зоне образца под действием сжимающих напряжений происходит пластическая деформация, а при охлаждении в этой же зоне образуются остаточные растягивающие напряжения, которые и приводят к образованию трещин.

В этой связи для повышения термической выносливости основное внимание следует уделять не пластической составляющей деформации, а упругой. Что касается теплопроводности и коэффициента линейного расширения, входящих в состав критерия, то их роль в рамках одной марки чугуна незначительна.

Таким образом, на основе теоретических обобщений и статистического анализа результатов экспериментальных исследований, связанных с оценкой термической выносливости поршневых материалов для высокофорсированных дизельных двигателей, предложен критерий термической выносливости ($K_{т.в.}$), использование которого, в рамках конструкторско-технологического подхода,

позволяет ускорить процесс выбора оптимального состава материала и проектирования поршней минимально необходимой массы.

Список литературы:

1. Суходольская Е.А. Критерий оценки термической вы-

носливости чугунов, применяемых для головок цилиндров / Е.А. Суходольская, Е.А. Затолокин // Вестник ХП. – 1973. – № 5. – С. 20-21. 2. Скок Ю.Я. Углеродистых и легированных сталей при высоких температурах. / Ю.Я. Скок, В.Л. Найдек, Р.Я. Якобше // Процессы литья. – 2003. – №4. – С. 70-73.

УДК 621.43.052

**А.П. Марченко, д-р техн. наук, В.А. Петросяни, канд. техн. наук,
Д.Е. Самойленко, канд. техн. наук А.А. Прохоренко, канд. техн. наук,
Е.И. Зинченко, канд. техн. наук, Косулин А.Г., канд. техн. наук,
Д.В. Мешков, ассистент**

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТУРБИНЫ ТКР С БНА: ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, НИЗКАЯ СЕБЕСТОИМОСТЬ

Постановка проблемы

В двигателестроении особую актуальность приобрели проблемы, связанные с улучшением топливной экономичности ДВС, снижением токсичности отработавших газов, уменьшением затрат на производство и эксплуатацию двигателей.

Теория и практика мирового двигателестроения свидетельствуют о том, что регулирование поршневой части и системы турбонаддува позволяет значительно улучшить технико-экономические характеристики ДВС во всем диапазоне эксплуатационных режимов его работы и выполнить современные нормы по токсичности. Ведущие двигателестроительные фирмы для решения обозначенной проблемы используют сопловое регулирование турбин системы газотурбинного наддува (такие турбокомпрессоры выпускаются фирмами BorgWarner Inc., Mitsubishi, Garrett), которое при всей его привлекательности отличается сложностью конструкции регулируемого соплового аппарата, высокой стоимостью и низкой надежностью [1].

Обзор последних исследований

Новый способ регулирования турбины системы турбонаддува, исключая обозначенные выше недостатки соплового регулирования, и реализующие его макетные и экспериментальный образцы, были разработаны совместной группой ученых кафедры ДВС НТУ "ХПИ" и ООО "Турбо - Веста". Новый способ запатентован [2-4], были изготовлены и испытаны макетные и промышленный образцы турбокомпрессоров, реализующие новый способ регулирования. Конструкции разработаны применительно к 2-м типам (рядному и V –

образному) двигателей, получивших широкое распространение в Украине. Для этих двигателей задача была решена исходя из условия – произвести установку механизма регулирования в серийно выпускаемые корпуса турбин. Непосредственно регулирование осуществлялось с помощью пневмо – механического механизма.

Все конструкции турбокомпрессоров реализуют принцип регулирования в турбине с безлопачным направляющим аппаратом (БНА) путем изменения площади проходного сечения конца разгонного участка БНА от ее минимального $F_{\text{сmin}}$ до максимального $F_{\text{сmax}}$ значения.

В работах [4-8] представлены результаты расчетного моделирования совместной работы двигателя с различными типами регулирования турбин ТКР, результаты экспериментальных исследований макетного образца регулируемого ТКР БНА на 4-х цилиндровых ДВС с изобарной системой наддува и 6-ти цилиндровом двигателе с полумпульсной системой наддува. Также были получены характеристики регулируемой турбины на безмоторном стенде.

Проведенная сравнительная оценка эффективности применения соплового регулирования и нового способа регулирования турбины ТКР с БНА показала, что регулирование турбины ТКР с БНА практически не уступает по эффективности сопловому регулированию. Однако по сравнению с сопловым регулированием новый способ имеет следующие преимущества: сопловый аппарат отсутствует, а механизм регулирования значительно проще, что удешевляет стоимость турбокомпрессора и повышает надежность его работы в эксплуатации.